

TECNOLOGIA PSA

ING: ALEXIS SALAZAR

QUE ES EL SISTEMA **PSA**

La separación por adsorción, proceso **PSA** tubo su origen en una patente Alemana de 1942 y las propiedades selectivas fueron reconocidas en 1960 cuando la industria petrolera impulsa los estudios ya que el **PSA** facilita la separación del hidrógeno y otros gases de los hidrocarburos gaseosos.

Como consecuencia de los excelentes resultados de laboratorio el 12 de julio de 1960 C.W.Skarstrom, técnico de la Compañía ESSO, patenta el PROCESO **PSA -pressure swing adsorption-**, adsorción por variación de presión.

En el caso que nos ocupa, este proceso se caracteriza por dos lechos/ tamices moleculares que se presurizan y se despresurizan en forma alternada, consiguiendo así el flujo de gas nitrógeno deseado. La obtención de este a partir del aire, aprovecha los diferentes tamaños moleculares con el oxígeno

- QUE ES EL PRINCIPIO DE **ADSORCIÓN**

El uso de sustancia sólida para separar diferentes elementos desde soluciones líquidas o gaseosas Estos Procesos son conocidos como **ADSORCIÓN** y funcionan por selección preferencial de los elementos de las soluciones en fase líquida o gaseosa respecto del sustrato sólido "adsorbente".

Este fenómeno es bien utilizado y difundido en varios procesos de la industria de la alimentación con cientos de aplicaciones donde el fenómeno de la adsorción es una vital herramienta de separación y purificación.

El fenómeno de adsorción es aplicable a la mayoría de los sistemas químicos, físicos, biológicos y los sustratos sólidos adsorbentes normalmente utilizados son tales como el carbón activado, las resinas sintéticas, los polímeros, otros; para aplicaciones industriales de separación y purificación.

El proceso de adsorción involucra la separación del elemento o sustancia desde una fase como consecuencia de la acumulación o concentración en el adsorbente. La adsorción difiere de la absorción, proceso en el cual el material es transformado de una fase en otra penetrando en la segunda fase y formando una "solución".

La adsorción física es causada o producida principalmente por las fuerzas de van der Waals y fuerzas electrostáticas entre las moléculas adsorbidas y los átomos que componen la superficie o sustrato adsorbente. De modo tal que los adsorbentes son caracterizados por las propiedades superficiales tales como "el área o superficie específica" y la "polaridad".

En tal sentido cuanto mayor superficie específica tenga el sustrato adsorbente, mayor será su capacidad de adsorción. De allí la importancia de la capacidad de formación de áreas superficiales interconectadas internas (micro poros o micro cavernas intercomunicadas), la homogeneidad del tamaño y la distribución interna de estos micro poros son las propiedades que más resaltan en importancia a la hora de definir el adsorbente.

- EL AIRE. SU COMPOSICIÓN. DIFERENTES TAMAÑOS MOLECULARES

Las propiedades físicas de los gases que entran en contacto con las zeolitas, en el caso que nos ocupa para Plantas **PSA** generadoras de oxígeno por adsorción, el gas es el AIRE atmosférico. Es decir que el aire con el material adsorbente determinan la capacidad adsorción relativa de su superficie.

La mayoría de los componentes del aire tienen diámetros lo suficientemente pequeños para pasar a través de los micro poros del tamiz molecular.

DIMENSIONES RELATIVAS DE TAMICES MOLECULARES:

Poros de zeolita 4,3 A

Diámetro molecular del oxígeno 3,4 A

Diámetro molecular del nitrógeno 3,6 A

Diámetro molecular del argón 3,3 A

A= unidad Angström = 1×10^{-8} cm.

Adicionalmente a los tamices moleculares se les adicionan –Cationes- otorgándoles a los micro poros o micro cavernas de las zeolitas una carga positiva neta. De tal modo que las propiedades eléctricas presentes en los constituyentes de los tamices moleculares de zeolitas determinarán la fuerza en el proceso de adsorción.

Estas propiedades incluyen las de polarizabilidad, movimientos de dipolo, y de cuadrupolo. Las energías de adsorción involucradas en el proceso que nos ocupa están expresadas según:

ADSORCIÓN MOLECULAR RELATIVA DE PIEDARS ZEOLITAS:

Agua H₂O +++++

Dióxido de carbono CO₂ ++++

Nitrógeno N₂ +++

Oxígeno O₂ ++

Argón Ar +

El gas producido en estas condiciones es primordialmente oxígeno con algo de argón.

Considerando a la misma materia prima involucrada en los procesos convencionales criogénicos y el sistema **PSA** , es decir el **AIRE**.

Separación eficaz

Mientras que los carbones activados no pueden separar el nitrógeno del aire, el tamiz molecular de carbón es una sustancia con unas estructuras de poro discreto que pueden separar las moléculas en función de su tamaño. Gracias a esta selectividad de alta absorción, el tamiz molecular de carbón permite una separación eficaz del nitrógeno. Las moléculas pequeñas de oxígeno penetran en los poros mientras que las moléculas de nitrógeno grandes escapan al tamiz molecular de carbón

TERMODINAMICA DE LA ADSORCION

La adsorción es el proceso mediante el cual un sólido poroso (a nivel microscópico) es capaz de retener partículas de un fluido en su superficie tras entrar en contacto con éste.

El adsorbente dispone de [nanoporos](#), lo que se conoce como centros activos, en los que las fuerzas de enlace entre los átomos no están saturadas. Estos centros activos admiten que se instalen [moléculas](#) de naturaleza distinta a la suya, procedentes de un gas en contacto con su superficie. La adsorción es un proceso exotérmico y se produce por tanto de manera espontánea si el adsorbente no se encuentra saturado.

La aplicación más importante de la [termodinámica](#) de la adsorción es la de calcular los equilibrios de fase entre un sólido adsorbente y una mezcla gaseosa. En este desarrollo, por simplicidad, sólo tomaremos en consideración gases puros (monocomponentes).

La base de todo este cálculo son las isothermas de adsorción, las cuales dan la cantidad de gas adsorbido en los nanoporos como una función de la [presión](#) externa (del gas). La [termodinámica](#) sólo puede aplicarse a las isothermas de adsorción en el equilibrio. Esto significa que se debe poder llegar a cualquier punto de la curva elevando o disminuyendo la presión; en otras palabras, las curvas de adsorción y desorción tienen que coincidir. Esto ocurre sólo si no existe [histéresis](#). La histéresis no se da en poros menores de 2 nm, sin embargo, se observa en poros lo suficientemente grandes como para que en su interior se condense gas para formar líquido.

Proceso

Oscilación de presión procesos de adsorción se basan en el hecho de que bajo presión, los gases tienden a sentirse atraídas a superficies sólidas, o "absorbido". Cuanto mayor sea la presión, el gas es absorbido más, cuando se reduce la presión, el gas es liberado, o desorción. Los procesos de PSA puede ser usado para separar gases en una mezcla de diferentes gases, porque tienden a ser atraídos por diferentes superficies sólidas, con más o menos fuerza. Si una mezcla de gases como el [aire](#), por ejemplo, se pasa bajo presión a través de un recipiente que contiene un lecho de adsorbente que atrae [el nitrógeno](#) con más fuerza que lo hace [el oxígeno](#), parte o la totalidad del nitrógeno se quedará en la cama, y el gas que sale de el buque va a ser enriquecido en oxígeno. Cuando la cama llega al final de su capacidad para absorber nitrógeno, puede ser regenerado mediante la reducción de la presión, liberando así el

nitrógeno adsorbido. La unidad está lista para otro ciclo de producción de aire enriquecido con oxígeno.

Este es exactamente el proceso que se utiliza en concentradores portátiles de oxígeno utilizado para pacientes que requieren oxígeno para respirar aire enriquecido.

El uso de dos buques de adsorbente permite casi continuo de producción del gas objetivo. También permite llamadas igualación de presión, donde se utiliza el gas que sale del vaso que se está despresurizado para presionar parcialmente el segundo recipiente. Esto se traduce en importantes ahorros de energía, y es una práctica industrial común.

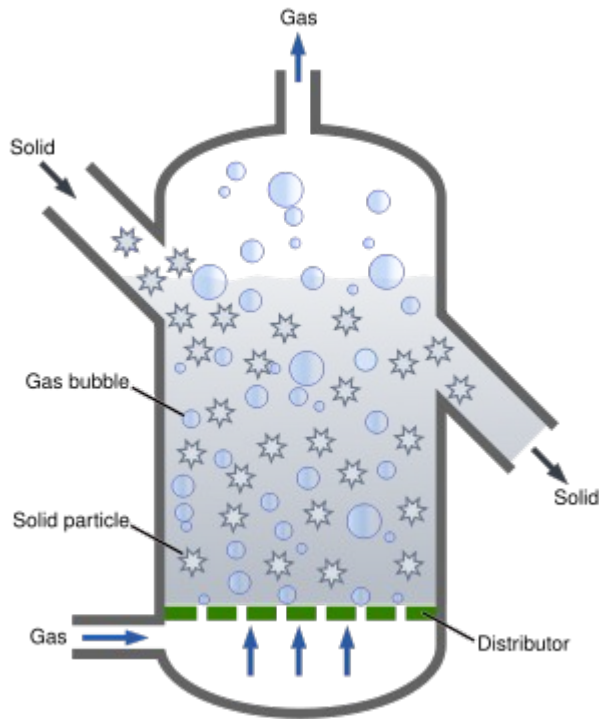
Los adsorbentes

Aparte de su capacidad para discriminar entre los diferentes gases, adsorbentes para los sistemas de PSA por lo general son materiales muy porosos escogidos debido a su gran superficie. Adsorbentes típicos son [el carbón activado](#) , [gel de sílice](#) , [alúmina](#) y [zeolita](#) . Aunque el gas adsorbido en estas superficies puede consistir en una capa de sólo uno o como máximo unas pocas moléculas de espesor áreas de superficie, de varios cientos de metros cuadrados por gramo permiten la absorción de una parte significativa de peso del adsorbente en gas. [molecular sieves](#) Además de su selectividad para diferentes gases, las zeolitas y algunos tipos de carbón activo llamado carbono [tamices moleculares](#) pueden utilizar las características de tamiz molecular para excluir a algunas moléculas de gas de su estructura basada en el tamaño de las moléculas, lo que limita la capacidad de las moléculas más grandes para ser absorbidos.

DISEÑO DE LA PSA:

1. Flange de alimentación del CMS (Carbón molecular Sieves)
2. Precarga de la carga de CMS, bajo compresión para soportar presión diferencial durante el ciclo normal
3. Diámetro de la vasija (correcto) que permite baja velocidad del gas durante la producción normal de N₂
4. Control de la velocidad del gas durante los ciclos de alta presión diferencial, para eliminar la fluidización del material CMS.

🔧 Fluidización dentro de la vasija de CMS (no deseable)



Dibujo esquemático de una vasija de lecho fluidizado.

Fluidización (o **fluidización**) es un proceso similar a la [de licuefacción](#) por el cual un [material granular](#) se convierte de un estado sólido estático a un estado de fluido dinámico. [fluidliquidgas](#) Este proceso ocurre cuando un [fluido](#) ([líquido](#) o [gas](#)) se pasa a través del material granular.

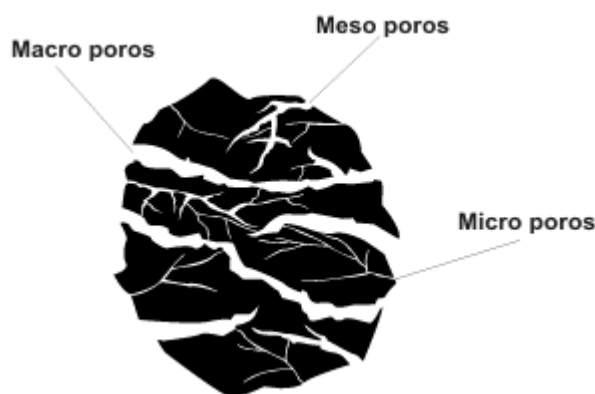
Cuando un flujo de gas se introduce a través del fondo de un lecho de partículas sólidas, se moverá hacia arriba a través del lecho a través de los espacios vacíos entre las partículas. [drag](#) A bajas velocidades de gas, aerodinámica [arrastre](#) en cada partícula es también baja, y por lo tanto el lecho permanece en un estado fijo. El aumento de la velocidad, las fuerzas de la resistencia aerodinámica comenzará a contrarrestar las fuerzas gravitatorias, haciendo que la cama de su expansión en volumen a medida que las partículas se alejan unas de otras. Aumentando aún más la velocidad, que llegará a un valor crítico en el que las fuerzas de arrastre hacia arriba exactamente igual a la fuerza gravitacional hacia abajo, haciendo que las partículas que quedan suspendidas en el líquido. En este valor crítico, la cama se dice que es fluido y un comportamiento de fluidos. Al aumentar aún más la velocidad del gas, la densidad aparente de la cama continuarán disminuyendo, y su fluidización se hace muy fuerte, hasta que las partículas ya no forman una cama y se "transmite" hacia arriba por el flujo de gas.

CARBON ACTIVADO

El Carbón activado actúa como adsorbente debido a un desequilibrio de fuerzas en la superficie de las placas gráficas. Este desequilibrio provoca atracciones intermoleculares que causan el atrapamiento de ciertas moléculas. El CA, adsorberá una molécula con mayor fuerza si existen dos placas gráficas lo suficientemente cercanas a la misma como para atraerla. Una molécula con mayor peso molecular se retendrá con mayor fuerza, siempre y cuando su tamaño le permita caber entre las placas gráficas.

Qué es el carbón activado?

. El carbón activado es carbón poroso que se produce artificialmente de manera que exhiba un elevado grado de porosidad y una alta superficie interna. Estas características, junto con la naturaleza química de los átomos de carbono que lo conforman, le dan la propiedad de atraer y atrapar de manera preferencial ciertas moléculas del fluido que lo rodean.



A esta propiedad se le llama adsorción; al sólido se le denomina "adsorbente" y a la molécula atrapada, "adsorbato". La unión entre el carbón y el adsorbato se lleva a cabo por medio de fuerzas de London, que son una de las clases de fuerzas de van der Waals. Éstas son relativamente débiles y, por lo tanto, reversibles

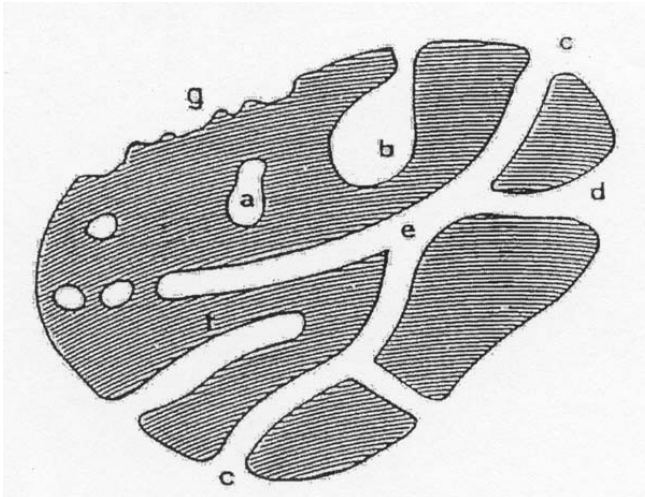
(INTERNATIONAL UNION OF PURE AND APPLIED CHEMISTRY)

La IUPAC reconoce tres tipos de poros atendiendo a su tamaño:

Macro poros > 50 nm

Meso poros 2 - 50 nm

Micro poros 2 nm



DIFERENTES TIPOS DE POROS

Esquema de la sección de corte de un sólido p

Variables de un Sistema de Fase Gas

CONDICIONES DE PROCESO	CARACTERÍSTICAS DEL CARBON
Flujo	Capacidad Adsorptiva Área Superficial Interna Distribución del Tamaño de Poro
Composición Naturaleza y concentración Del contaminante	Tamaño de Partícula Diámetro Longitud Tamaño de Malla
Temperatura	Caída de Presión
Presión	Dureza Se recomienda el uso de carbones Extruídos
Humedad Relativa	

DESCRIPCION DEL CICLO PSA

PSA ciclo del proceso

El ciclo del proceso de PSA consiste en dos mecanismos fundamentales:

- Presurización / adsorción
- Despresurización / desorción

Aire comprimido alternativamente presuriza cada una de dos camas o lechos de adsorción idénticos.

Comenzando en un punto en el ciclo donde se presuriza un lecho de adsorción (A) y el lecho de adsorción (B) está pasando por la despresurización, la descripción del ciclo de proceso de PSA es el siguiente:

El aire comprimido entra en un lecho de adsorción, la humedad, oxígeno y dióxido de carbono son absorbidos.

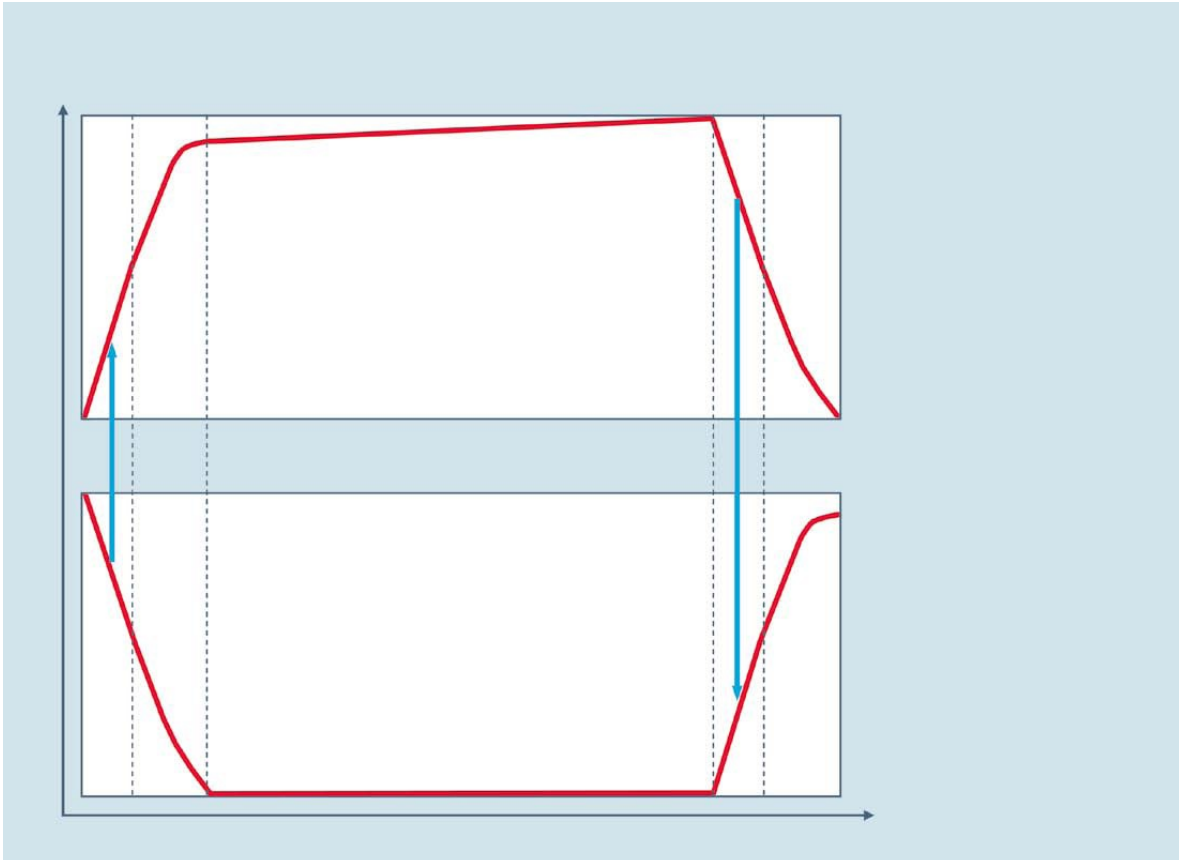
Después de la presión de operación es alcanzada, el nitrógeno fluye del lecho de adsorción A al tanque receptor del producto antes de entrar en las líneas de consumo. Al mismo tiempo el lecho adsorbedor (B) se despresuriza a la presión atmosférica.

Al término de la producción de nitrógeno a partir del lecho de adsorción (A), se produce un paso de equalización. Adsorbedor de lecho B (presión atmosférica) está presurizada a una presión intermedia, el aire presurizado que entra en el lecho de adsorción A (con presión de funcionamiento) fluye en (B). Durante este paso, el aire no se consume, ni se genera Nitrógeno

Por lo tanto, un tanque receptor de nitrógeno se aplica en la salida para permitir un flujo constante a la línea de consumo.

El lecho de adsorción (A) luego se somete a despresurización y el gas enriquecido con oxígeno y los residuos de humedad y otros desechos se ventila a la atmósfera. La Despresurización permite la liberación de oxígeno, dióxido de carbono y vapor de agua adsorbida previamente durante la producción de nitrógeno de (A). Al mismo tiempo el lecho adsorbedor (B) es llevada a la presión de operación, y comienza su porción de la producción de nitrógeno del ciclo.

Después de la producción de nitrógeno con el lecho adsorbedor (B) se somete a la equalización y la despresurización de la posterior. El ciclo continúa en el punto donde se somete a presurización el lecho adsorbedor (A) y despresurización del (B)



Tamices moleculares de carbón (CARBON MOLECULAR SIEVES) (CMS)

Los tamices moleculares son sólidos que pueden ser usados para separar los componentes moleculares de una mezcla. Este término es habitualmente usado para denominar a determinados sólidos micro porosos, en particular a algunas zeolitas y ciertos materiales de carbón micro poroso. Estos materiales presentan una distribución de tamaños de poro muy estrecha, poseyendo además la característica de diferenciar entre moléculas en base a sus diferentes dimensiones moleculares. Una de las aplicaciones más importantes de estos materiales es la separación de N₂ y O₂ del aire. Dado que la diferencia en los diámetros

cinéticos de estas dos moléculas es de menos de 0.02 nm, es evidente que el diseño de los tamices moleculares requiere de un control muy riguroso del tamaño de poros.

Este material actúa como un colador que separa el oxígeno del aire molecularmente por un proceso de adsorción que ocurre solamente a alta presión. El adsorbente selectivamente adsorbe las moléculas de agua (H₂O), dióxido de carbono (CO₂) y el nitrógeno (N₂) dejando libre así oxígeno de alta pureza (95%).

Cuando el tamiz molecular se llena completamente comienza el ciclo de regeneración del adsorbente. Durante este ciclo, se reduce la presión en el tanque que lo contiene. Al bajar la presión, las impurezas (dióxido de carbono, aire y nitrógeno) se separan del material adsorbente y se eliminan del sistema. El tanque queda entonces preparado para el próximo ciclo de adsorción.